

Morphological Control

Rudolf M. Fuchslin

Fünfzig Jahre Forschung in der Robotik zeigen: Das Schwierige am Schachspielen ist nicht etwa das Finden guter Züge sondern das Bewegen der Figuren. Wie kommt man zu diesem Schluss? Stellen Sie sich die Aufgabe, einen Roboter zu bauen, der gegen Sie Schach spielen kann. Der einzige Haken: Ich wähle das Brett und die Figuren (ich kaufe diese in irgendeinem Spielwaren- oder Antiquitätengeschäft, zeige sie Ihnen aber nicht vor dem Spiel). Sie werden kaum Mühe haben, mit den zwar nicht standardisierten aber immerhin zum Schachspielen vorgesehenen Steinen umzugehen. Für Menschen besteht die wesentliche Herausforderung beim Schachspielen im Finden guter Züge. Ganz anders der Roboter: Bereits ein Handy verfügt über ausreichend Rechenkapazität, um erfahrene SpielerInnen zu schlagen. Wirklich schwierig ist es aber, allgemeine Algorithmen für die Steuerung des Bewegungsablaufs zu finden, welche mit nicht in der Software kodierten Figurengeometrien umgehen können. Die zugrunde liegende Beobachtung ist recht allgemein und es stellt sich die Frage: Wieso ist es Menschen in der Regel recht einfach möglich, sich in unbekanntem und auch schwierigen Terrain zu bewegen? Wie schaffen sie das mit einem Gehirn, welches nicht gerade als perfekter Computer zu betrachten ist? Auf der anderen Seite: Wieso haben die imposanten Steigerungen der Rechenleistung in den letzten Jahren so wenig dazu beigetragen, leistungsfähige Haushaltroboter zu entwickeln? Roboter, die Tätigkeiten ausüben, die wir häufig im Halbschlaf bewältigen (müssen).

Wir behaupten, dass ein Teil der Antwort auf diese Fragen in der, im heutigen Engineering üblichen, strikten Trennung von Hard- und Software zu finden ist. Diese Trennung wird bereits seit einiger Zeit von Forschern im Gebiet der bio – inspirierten Robotik und der sog. „embodied intelligence“ in Frage gestellt. Führend in diesem Gebiet ist z.B. das Artificial Intelligence Laboratory der Universität Zürich, in welchem Rolf Pfeifer und seine Mitarbeiter neue Typen von Robotern und ihnen zugrunde liegende Konzepte entwickeln. Ein Teilgebiet dieser Forschung, das „Morphological Computing“ wird nun auch an der ZHAW vornehmlich im medizinischen Bereich angewandt. Morphological Computing kann verstanden werden als die (Mit-)Benützung der physikalischen Dynamik eines Systems zur Erledigung von Aufgaben, die herkömmlicherweise von einem Computer bewältigt werden. „Morphological Control“ ist dann die Anwendung von Morphological Computing auf Steuerungsprobleme.

Was heisst das nun konkret? Normalerweise erfolgt die Steuerung eines Roboters nach einem einfachen Schema. Durch Sensoren gewonnene Information über den aktuellen Zustand des Systems (Stellwinkel von Gelenken, Geschwindigkeiten etc.) wird in digitale Signale transformiert und in eine Kontrolleinheit eingespeist. Diese Information konstituiert eine interne Darstellung des Roboters, welche die Grundlage für die Planung weiterer Handlungen liefert. Nun kann der Bewegungszustand eines Roboters nur mit endlicher Präzision und mit beschränkter Abtastrate ermittelt werden. Die Morphologie des Roboters (hier verstanden als Kombination von Geometrie und Materialeigenschaften wie z.B. Elastizitätskonstanten) verrauscht die Zustandsmessung. Deswegen tendiert man dazu, Roboter möglichst so zu bauen, dass dieses Rauschen minimiert wird, also die durch Sensoren ermittelte Bewegungszustandsmessung möglichst genau ist. Dies ist der Grund, warum Roboter normalerweise steif (Lokalisation der Geometrie) und schwer (weniger Rauschen auf den Geschwindigkeitsmessungen) sind. Die physikalische Eigendynamik des Roboters wird nach

Möglichkeit unterdrückt. Morphological Control verfolgt einen anderen Ansatz: Das Kontrollsystem soll die Eigendynamik des Roboters nicht unterdrücken, sondern ausnützen. Die Dynamik eines mechanischen Systems wird durch bestimmte Bewegungsmuster determiniert (technisch: attractor landscape im Parameterraum). Ein System kann dabei durchaus mehrere typische Bewegungsmuster aufweisen (in der attractor landscape gibt es mehrere basins of attraction). Das Entscheidende ist nun: Eine kleine Störung der Bewegung wird durch die Eigendynamik des Systems aufgefangen. Solange man sich in einem bestimmten basin of attraction aufhält, wird man immer wieder dasselbe Bewegungsmuster durchführen. Das Kontrollproblem wird durch intelligente Benützung der Eigendynamik des Systems massiv vereinfacht: Es muss nicht mehr jedes Detail einer Bewegung gesteuert werden, die Kontrolleinheit muss nur noch dafür sorgen, dass sich das System im richtigen basin of attraction aufhält.

Ein Beispiel illustriert, was mit diesen Überlegungen in der Praxis gemeint ist und wie sie auf medizinische Fragestellungen übertragen werden können. Es ist eine Tatsache, dass sich die Qualität des Bewegungsverhaltens (Stabilität, Präzision, etc.) mit fortschreitendem Alter bei den meisten Menschen nicht verbessert. Häufig wird dieses Nachlassen der Bewegungskontrolle als Resultat eines neuronalen Abbaus interpretiert. Das Konzept der Morphological Control erlaubt nun aber eine wesentlich positivere Interpretation. Wenn die Eigendynamik des Körpers wesentlich zur Stabilisierung und Kontrolle von Bewegungsprozessen beiträgt, dann muss man berücksichtigen, dass diese Eigendynamik durch Alterungsprozesse verändert wird (Sehnen werden steifer, usw). Ein Körper dessen physikalische Eigendynamik die willentliche Steuerung durch das Gehirn bei einem zwanzigjährigen Menschen noch optimal unterstützt, hilft, nun gealtert, bei einen Achtzigjährigen wesentlich weniger. Anders gesagt: Der/die Achtzigjährige läuft weniger stabil, nicht weil sein/ihr Gehirn abgebaut hat, sondern weil das Steuerungsproblem für das Gehirn komplizierter wurde. Dies, da die Dynamik des Körpers die Steuerung weniger gut unterstützt.

Die Leistungsfähigkeit des Gehirns zu erhöhen ist mit den heutigen Mitteln nicht möglich; die mechanischen Eigenschaften des Körpers zu verändern ist hingegen durchaus im Bereiche des Möglichen. Entscheidend dabei ist: Es geht um die Gesamtdynamik, um eine Wiederherstellung der attractor landscape, nicht um Details. Dies bedeutet: Es ist nicht das Ziel, z.B. die Elastizität einzelner Sehnen zu verändern. Aber durch Anlegen intelligenter, das heisst auch aktuierter aufblasbarer Manschetten oder ähnlicher Unterstützungssystemen kann günstigenfalls eine für attractor landscape geschaffen werden, welche die Steuerung des Körpers für das Gehirn wieder vereinfacht.

Die Kalibrierung eines solchen Systems und die Personalisierung eines geeigneten Therapieschemas ist eine Herausforderung. Hier ist eine enge Zusammenarbeit zwischen IngenieurInnen und medizinischen Personal (ÄrztInnen, Pflegende und SpezialistInnen aus der Physiotherapie) erforderlich. Dabei ist es Aufgabe der Technik, die Funktionsweise eines Systems zu erklären welches Bewegungen weder direkt durchführt noch in vorgegebenen Bahnen lenkt sondern die Patienten indirekt unterstützt, indem es die Kontrolle von Bewegungsabläufen vereinfacht.